



TITLE

ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM AND EXPOSURE APPARATUS HAVING
THE SAME

ABSTRACT

[PROBLEMS] There is provided an optical element including high reflectance and high durability, instead of a mirror of dielectric multi-layer film, so as to increase luminous intensity and luminous amount of an apparatus using this optical element.

[SOLUTION] 10 is an ArF excimer laser oscillator that generates nearly parallel and nearly straight polarized light, 11 to 14 are deflecting elements to deflect a beam from a laser, and 15 is a polarization removal element for removing polarization of nearly straight polarized light. A fly-eye lens 16, condenser lens 17, mirror 18, masking blade 19, and image-forming lens 20 provide the uniform illumination of a necessary area on the reticle 21. 22 is a projection optical system for projecting a reduced size of a circuit pattern on the reticle 21, onto a wafer 23. Deflected elements 11 to 14 use inventive optical elements of inner reflection (12, 13) when attempting to deflect p polarized light and dielectric mirrors (11, 14) when attempting to deflect s polarized light, so as to reduce a loss of luminous amount during deflection.

≈ 452002/0001134 A1

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-264696

(P2001-264696A)

(43) 公開日 平成13年9月26日 (2001.9.26)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	ターム(参考)
G 0 2 B 27/28		G 0 2 B 27/28	Z 2 H 0 4 9
5/30		5/30	2 H 0 9 9
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1 5 F 0 4 6
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数21 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-74558 (P2000-74558)

(22) 出願日 平成12年3月16日 (2000.3.16)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 篠田 健一郎

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 100065385

弁理士 山下 穰平

Fターム(参考) 2H049 BA05 BA12 BA14 BA43 BB65

BC25

2H099 AA00 BA09 BA13 CA01 CA02

CA07 DA09

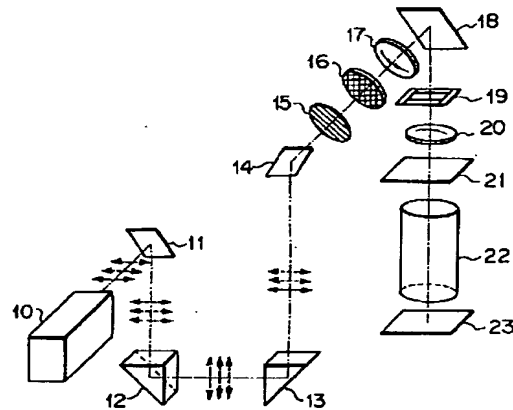
5F046 BA03 CB02 CB15 DA12

(54) 【発明の名称】 照明光学系及びそれを備えた露光装置

(57) 【要約】

【課題】 誘電体多層膜ミラーの代わりに、高反射率と高耐性を有する光学素子を提供し、この光学素子を使用する装置の照度及び光量を高くする。

【解決手段】 10は略平行で略直線偏光光を発生するArFエキシマレーザ発振器、11~14はレーザからの光束を偏向させるための偏向素子、15は略直線偏光の偏光を解消するための偏光解消素子である。フライアイレンズ16、集光レンズ17、ミラー18、マスキングブレード19、及び結像レンズ20によって、レチクル21面上の必要な領域を均一に照明している。22はレチクル21面上の回路パターンをウエハ23に縮小投影する投影光学系である。偏向素子11~14はp偏光時の偏向には本発明の内面反射型光学素子(12、13)を用い、s偏光時の偏向には誘電体ミラー(11、14)を用いることで、偏向による光量損失を低減させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 全反射を利用して略直線偏光光の進行方向を変える内面反射型の光学部材と、該光学部材を出射した光の直線偏光を解消する直線偏光解消部材とを有することを特徴とする光学系。

【請求項2】 前記光学部材の入射面は、p偏光成分がブリュースター角で入射するように構成されていることを特徴とする請求項1記載の光学系。

【請求項3】 前記光学部材の射出面は、p偏光成分がブリュースター角で射出するように構成されていることを特徴とする請求項1又は2記載の光学系。

【請求項4】 前記光学部材の全反射面には、前記略直線偏光光が臨界角以上で入射することを特徴とする請求項1乃至3いずれか1項記載の光学系。

【請求項5】 前記光学部材の入射面と射出面のなす角を θ 、前記光学部材の全反射面に入射する光の入射角を $A2$ とすると、

$$\theta + 2 \cdot A2 = 180^\circ$$

を満足することを特徴とする請求項1乃至4いずれか1項記載の光学系。

【請求項6】 前記光学部材の入射面と射出面のなす角 θ が 90° であることを特徴とする請求項5記載の光学系。

【請求項7】 前記光学部材で進行方向を変えられる略直線偏光光は、片側の開き角が 3° 以下であることを特徴とする請求項1乃至6記載の光学系。

【請求項8】 前記光学部材の入射面及び射出面には、反射防止膜が施されていることを特徴とする請求項1乃至7記載の光学系。

【請求項9】 前記光学部材の入射面及び射出面には、前記光学部材よりも低屈折率の物質でオーバーコートが施されていることを特徴とする請求項1乃至7記載の光学系。

【請求項10】 光源からの光を被照射面に導光する照明光学系において、全反射を利用して略直線偏光光の進行方向を変える内面反射型の光学部材と、該光学部材を出射した光の直線偏光を解消する直線偏光解消部材とを有することを特徴とする照明光学系。

【請求項11】 前記直線偏光解消部材で直線偏光を解消された光が入射するフライアイレンズと、該フライアイレンズの射出面に形成される複数の2次光源からの光を前記被照射面上で重畳させるレンズ系を有することを特徴とする請求項10記載の照明光学系。

【請求項12】 前記光学部材の入射面は、p偏光成分がブリュースター角で入射するように構成されていることを特徴とする請求項10又は11記載の照明光学系。

【請求項13】 前記光学部材の射出面は、p偏光成分がブリュースター角で射出するように構成されていることを特徴とする請求項10乃至12記載の照明光学系。

【請求項14】 前記光学部材の全反射面には、前記略

直線偏光光が臨界角以上で入射することを特徴とする請求項10乃至13いずれか1項記載の照明光学系。

【請求項15】 前記光学部材の入射面と射出面のなす角を θ 、前記光学部材の全反射面に入射する光の入射角を $A2$ とすると、

$$\theta + 2 \cdot A2 = 180^\circ$$

を満足することを特徴とする請求項10乃至14いずれか1項記載の照明光学系。

【請求項16】 前記光学部材の入射面と射出面のなす角 θ が 90° であることを特徴とする請求項15記載の照明光学系。

【請求項17】 前記光学部材で進行方向を変えられる略直線偏光光は、片側の開き角が 3° 以下であることを特徴とする請求項10乃至16記載の照明光学系。

【請求項18】 前記光学部材の入射面及び射出面には、反射防止膜が施されていることを特徴とする請求項10乃至17記載の照明光学系。

【請求項19】 前記光学部材の入射面及び射出面には、前記光学部材よりも低屈折率の物質でオーバーコートが施されていることを特徴とする請求項10乃至17記載の照明光学系。

【請求項20】 請求項10乃至19いずれか1項記載の照明光学系と投影光学系とを有し、前記照明光学系によってパターンが形成されたレチクルを照明すると共に、該パターンを前記投影光学系によってウエハ上に投影露光することを特徴とする露光装置。

【請求項21】 ウエハにレジストを塗布する工程と、請求項20記載の露光装置を用いてレチクルに形成されたパターンをウエハに露光する工程と、露光されたレジストを現像する工程とを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、光学系、特に光源からの光を被照射面に導光するための照明光学系に関し、半導体素子等の微細パターンを製造する際のフォトリソグラフィ工程に用いられる露光装置の照明光学系に好適なものである。

【0002】

【従来の技術】半導体素子(ICや等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等)の微細パターンを製造する際のフォトリソグラフィ工程に用いられる露光装置では、パターンの微細化に伴いこれまで以上に高い解像力が要求されるようになってきている。k1をプロセスに対応した定数、露光光の波長を λ 、露光装置の投影光学系の開口数をNAとすると、解像力をRとすると、 $R = k1 \cdot \lambda / NA$ この式から分かるように、高い解像力を得るためには、投影光学系の高NA化、光源の短波長化が一般的に必要となる。事実、露光装置で使用される露光光の波長はi線(365nm)

m) から KrF エキシマレーザ (248nm)、ArF エキシマレーザ (193nm) へと移行してきており、今後は更に F₂ レーザ (157nm) 等、露光光の使用波長は更に短波長の領域へ向かう傾向にある。

【0003】一方、露光装置内では、光源からの光をパターンが形成されたレチクル面（被照射面）又は被計測面に導光する照明光学系部において、装置の構造上、光を数回にわたって偏向させることが必要である。従来、その偏向手段として、基板に誘電体多層膜を施して高い反射率を達成するミラーが用いられてきていた。誘電体多層ミラーは、高い屈折率 (nH) を持ちその光学的膜厚が露光光の中心波長の 1/4 である膜 (H) と、低い屈折率 (nL) を持ちその光学的膜厚が露光光の中心波長の 1/4 である膜 (L) を基板上に交互に積層したもので、膜を積層することにより入射光に対する反射率を増加させるものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】誘電体多層膜ミラーには、使用波長の光に対して十分に高い反射率を有し、且つ十分な耐性のあることが要求されている。ところが、使用波長が i 線 (365nm) から KrF エキシマレーザ (248nm)、ArF エキシマレーザ (193nm) と短くなるに伴い、誘電体多層膜ミラーで十分に高い反射率を達成することが困難となってきた。

【0005】そのため、従来よりも短波長の光を発する光源を用いた露光装置では露光光の照度が低くなり、結果として露光時間が増すことになるので、装置のスループット低下を招いたり、アライメント計測時に必要な光量が得られないという問題が懸念されてきている。

【0006】一方、上記した KrF エキシマレーザや ArF エキシマレーザ等のレーザ光源によって供給される光は略直線偏光の光であるが、直線偏光は過干渉性が高く、また偏光方向によって結像性能が異なるという性質を持つ。そのため、直線偏光を直接露光光として使用した場合、干渉縞に起因した露光ムラや偏光方向による解像度の差異が生じる可能性があった。

【0007】そこで本発明は上記したような従来の課題を鑑み、短波長の光に対しても高い反射率を維持して光の偏向を行うと共に、直線偏光の解消が行える光学系を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】上記の課題を解決するための本発明の光学系は、全反射を利用して略直線偏光の進行方向を変える内面反射型の光学部材と、該光学部材を出射した光の直線偏光を解消する直線偏光解消部材とを有する。

【0009】上記の光学系においては、前記光学部材の入射面は、p 偏光成分がブリュースター角で入射するように構成されている。又、前記光学部材の射出面は、p 偏光成分がブリュースター角で射出するように構成され

ている。又、前記光学部材の全反射面には、前記略直線偏光光が臨界角以上で入射する。又、前記光学部材の入射面と射出面のなす角を θ 、前記光学部材の全反射面に入射する光の入射角を $A2$ とするとき、 $\theta + 2 \cdot A2 = 180^\circ$ を満足させている。又、前記光学部材の入射面と射出面のなす角 θ が 90° である。又、前記光学部材で進行方向を変えられる略直線偏光光は、片側の開き角が 3° 以下である。又、前記光学部材の入射面及び射出面には、反射防止膜が施されている。又、前記光学部材の入射面及び射出面には、前記光学部材よりも低屈折率の物質でオーバーコートが施されている。

【0010】又、本発明の照明光学系は、光源からの光を被照射面に導光する照明光学系において、全反射を利用して略直線偏光光の進行方向を変える内面反射型の光学部材と、該光学部材を出射した光の直線偏光を解消する直線偏光解消部材とを有する。上記の照明光学系においては、前記直線偏光解消部材で直線偏光を解消された光が入射するフライアイレンズと、該フライアイレンズの射出面に形成される複数の 2 次光源からの光を前記被照射面上で重畳させるレンズ系を有する。又、前記光学部材の入射面は、p 偏光成分がブリュースター角で入射するように構成されている。又、前記光学部材の射出面は、p 偏光成分がブリュースター角で射出するように構成されている。又、前記光学部材の全反射面には、前記略直線偏光光が臨界角以上で入射する。又、前記光学部材の入射面と射出面のなす角を θ 、前記光学部材の全反射面に入射する光の入射角を $A2$ とするとき、 $\theta + 2 \cdot A2 = 180^\circ$ を満足させている。又、前記光学部材の入射面と射出面のなす角 θ が 90° である。

【0011】また、前記光学部材で進行方向を変えられる略直線偏光光は、片側の開き角が 3° 以下である。又、前記光学部材の入射面及び射出面には、反射防止膜が施されている。又、前記光学部材の入射面及び射出面には、前記光学部材よりも低屈折率の物質でオーバーコートが施されている。

【0012】又、本発明の露光装置においては、前記照明光学系と投影光学系とを有し、前記照明光学系によってパターンが形成されたレチクルを照明すると共に、該パターンを前記投影光学系によってウエハ上に投影露光する。

【0013】又、本発明のデバイス製造方法は、ウエハにレジストを塗布する工程と、上述した露光装置を使用してレチクルに形成されたパターンをウエハに露光する工程と、露光されたレジストを現像する工程とを含む。

【0014】

【発明の実施の形態】図 1 は、本発明を半導体デバイス製造用の露光装置の照明光学系に用いた場合の一つの実施形態である。図 1 において、10 は露光光 (照明光としてのほぼ平行で略直線偏光光を発生する光源としての ArF エキシマレーザ発振器、11 ~ 14 はレーザから

の光束を偏向させるための偏向光学素子、15は略直線偏光の偏光を解消するための偏光解消素子、16は複数の微小レンズを2次元的に配列したフライアイレンズである。17は集光レンズであり、フライアイレンズ射出面で形成された複数の2次光源像をミラー18で反射し、被照射面としてのマスキングブレード19面を重畳照射してその面を均一にケラー照明している。本実施形態において、照明光学系は、これらの偏向光学素子11~14、偏光解消素子15、フライアイレンズ16、集光レンズ17、ミラー18、結像レンズ20等によって構成されている。20は結像レンズで、マスキングブレード19の開形状をレチクル21面に転写し、レチクル21面上の必要な領域を均一に照明している。22はレチクル21面上の回路パターンを縮小投影する投影光学系である。23はレチクル21上の回路パターンが投影転写されるウエハ（基板）であり、露光面に位置している。

【0015】本実施形態において、マスキングブレード19、レチクル21、ウエハ23の各面は光学的に共役であり、それぞれが被照射面に相当する。また2次光源が形成されるフライアイレンズ16の射出面と投影光学系22の瞳面も互いに光学的に共役である。

【0016】直線偏光解消部材としての偏光解消素子15は、ArFエキシマレーザ発振器10から供給された略直線偏光光を無偏光に変換するための素子であり、光線の通過位置によって光路長が異なるよう設定されたくさび形状の光学部材である。偏光解消素子15は、フライアイレンズ射出面に形成される複数の2次光源からの光が互いに干渉し、被照射面（マスキングブレード19、レチクル21、ウエハ23）上で干渉縞が発生すること、並びに偏光方向によって結像性能が異なることを抑制するために、フライアイレンズ16よりも上流側（光源側）に設ける必要がある。なお直線偏光解消部材としては、本実施形態のような偏光解消素子だけでなくλ/4板を用いてもよい。直線偏光解消部材としてλ/4板を用いた場合には、直線偏光は円偏光に変換されることになる。

【0017】また一般に、装置の構成上または運用上、ArFエキシマレーザ発振器10からの光束をフライアイレンズ16に導くまでには本実施形態に示すように任意の方向に複数回偏向させることが要求される。しかし、ウエハ23での照度を高く維持し、スループットを低下させないためには偏向による光量損失は極力抑えなければならない。そこで、本発明では、全反射を利用した誘電体ミラーはp偏光に比べ、s偏光時の反射率が高いという性質を持ち、内面反射型光学素子はp偏光時の偏向効率が低いという性質を持つことに着目し、p偏光の偏向には内面反射型光学素子（偏光光学素子12、13）を用い、s偏光の偏向には誘電体ミラー（偏光光学素子11、14）を用い、偏光解消素子15

により偏光状態をランダム又は円偏光に変換することで、照明にふさわしい偏光状態の光をフライアイレンズ16に導光することを可能としている。

【0018】そして結果的にウエハ23上での照度が高くなり、スループットの向上を図るとともに、干渉縞による露光ムラや偏光方向による解像度の劣化を抑え、高精度の露光を実現している。

【0019】図2(a)は、第1の実施形態を示す内面反射型光学素子の概略図である。この光学素子は200nm以下の波長光において充分な透過率（99.5%/cm以上）を有する硝材からなっている。図中、1は入射面、2は反射面（全反射面）、3は射出面である。光を高効率に偏向させるには、透過率が十分に高い硝材を使用することはもちろんのこと、入射面、反射面、射出面の各面での光量損失を極力小さくする必要がある。

【0020】図2(b)は、図2(a)に示した内面反射型光学素子の平面図で、高効率に光を偏向させるための条件を詳細に示したものである。A1、A2、A3はそれぞれ入射面1、反射面2、射出面3への入射角、A1'、A3'は入射面1、射出面3での屈折角である。

【0021】いま、内面反射型光学素子は波長193nmにおいて屈折率 $n_c = 1.5$ の螢石(CaF₂)硝材から成るものとし、周囲は波長193nmで充分透過性のある媒質（屈折率 $n_g = 1$ ）で満たされているものとする。また、入射光は波長193nmの平行な光束で、偏光は直線偏光状態である。

【0022】ここで、入射面1で光量損失なく入射させるためには、「入射光の偏光方向を入射平面内方向（p偏光）と一致させ、且つブリュースター角を満足する関係」にすればよい。ここでブリュースター角（偏光角）とは屈折率 n_g の物質から屈折率 n_c の物質へ入射する際の入射角 ψ_{s1} が

$$\tan \psi_{s1} = n_c / n_g$$

を満足する角度である。本実施形態では $\tan \psi_{s1} = n_c / n_g = 1.5$ であるので、 ψ_{s1} は、約56.3°となる。従って、入射角 $A1 = \psi_{s1}$ とすることで、p偏光の入射光はほぼ100%の効率で入射面1を通過し、反射面2へ導光される。

【0023】次に、反射面2に到達した光を光量損失なく反射させるためには、全反射条件を満たすように反射面を配置すれば良い。即ち、反射面2に到達する光の入射角A2は「臨界角以上且つ90°以下」の条件を満足すればよい。

【0024】ここで臨界角とは全反射を起こす最小の入射角 ψ_c のことで、屈折率 n_c の物質から屈折率 n_g の物質を入射する場合、

$$\sin \psi_c = n_g / n_c$$

を満足する角度である。本実施形態では $\sin \psi_c = n_g / n_c = 0.666 \dots$ であるので、 ψ_c は、約41.8°となる。

【0025】臨界面角以外の条件で全反射すると、p偏光とs偏光で異なった量の位相飛びが発生するが、本実施形態ではp偏光成分のみの直線偏光であるため、p偏光のまま射出面3に到達することになる。

【0026】従って、反射面2への入射角A2を $41.8^\circ \leq A2 < 90^\circ$ とすることで、ほぼ100%の効率で反射され、射出面3へ導光される。

【0027】最後に、射出面3に到達した光を光量損失なく射出させるためには、入射面1と同様に「偏光方向をp偏光とし、且つブリュースター角を満足するような位置関係」に設定すればよい。つまり、 $\tan \psi_b = n_g / n_c = 0.66666$ とすればよい。これを満たす ψ_b は、約 33.7° である。

【0028】従って、射出角 $A3 = \psi_b = 33.7^\circ$ とすることで、p偏光成分の反射率はほぼ100%の効率で射出面3を通過する。

【0029】以上より、光が平行光で直線偏光状態である場合には、「入射面と射出面がブリュースター角を満足し、反射面が全反射を満足する」ように配置した内面反射型光学素子を用いることで、屈折面及び反射面での*

nc/ng=1.5の場合

入射角(A1)	Rp/面(%)	A2	偏向効率(%)
53.3°	0.09	46.4°	99.82
54.3°	0.04	45.9°	99.92
55.3°	0.01	45.5°	99.98
56.3°	0	45.0°	100.00
57.3°	0.01	44.6°	99.98
58.3°	0.05	44.1°	99.90
59.3°	0.11	43.7°	99.78

表1より、 $nc/ng = 1.5$ の場合、入射面1でのp偏光の反射率は、片側の開き角が 3° で約0.1%、 2° で0.05%、 1° では0.01%であることがわかる。これは、射出面3も同様である。また、反射面2への入射角A2は全反射条件を満たしている。従って、偏向効率は表1に示す如く、開き角が 3° で99.8%程度、 2° 以下なら99.9%以上が保証できる。ただし、厳密な偏向効率は、上記値に硝材の厚みに応じた透過率を考慮する必要がある。

【0034】以上より、直線偏光で片側 3° 程度までの開き角を持つ光束においても、図2の実施形態に示す内面反射型光学素子で効率よく偏向することが可能となる。

【0035】図4は、直角プリズムであり、反射面2で全反射させることによって偏向を行う。この構造は単純な構造なので製作上好ましいが、入射面1と射出面3にそれぞれ反射防止膜(B1、B3)を設ける必要がある。また、反射防止膜を設けた際には入射光を特に直線偏光状態に限定する必要はなくなるが、プリズムの光利用効率は反射防止膜の効率に依存する。

【0036】次に、入射光が露光装置用の光源として用いられる波長 193nm のArFエキシマレーザ光の場合

* 光量損失を理論的に零とすることが可能となり、この内面反射型光学素子を用いた光学系の光量損失を少なくすることができる。

【0030】つまり入射面1と射出面3の為す角度を θ とすると、 $A1 = A3' = \psi_b$ 、 $A1' = A3 = \psi_b$ であるから、

$\theta + 2 \times A2 = 180^\circ$ (但し、臨界面 $\leq A2 < 90^\circ$)

を満たせばよいことになる。

【0031】更に、図3に示す様に $\theta = 90^\circ$ とすると製作上好ましく、射出光を入射光に対して 90° 偏向させることも可能である。その際の反射面は $A2 = 45^\circ$ を満足するように配置してやればよい。

【0032】ここで、入射光が片側 3° の開き角をもった光束である場合、すなわち入射角A1が $53.3 \pm 3^\circ$ のときの界面(入射、反射、射出)の偏向効率を表1に示す。

【0033】

【表1】

合を考える。このArFエキシマレーザ光は、露光装置内の投影光学系の色収差の問題から狭帯域化されており、偏光度は95%以上の略直線偏光状態となっている。また、片側の開き角が 1° 以下の略平行光束である。

【0037】図5には、このビームプロファイル及び偏光状態を示す。

【0038】図3で示した内面反射型光学素子を用いて、このArFエキシマレーザ光を偏向させた場合の効率を計算する。95%の直線偏光成分を入射面1に対してp偏光となるように入射させると、p成分の光は100%の効率で入射面を透過するが、僅かに存在するs成分の光は14.8%が反射される。 $(95\% \times 1) + (5\% \times 0.852) = 99.26\%$ であるから、透過率は、99.26%となる。

【0039】射出面3でも同様の現象が起こるため、図2の内面反射型光学素子の偏向効率は98.5%と低くなってしまふ。

【0040】そこで、上記ArFエキシマレーザ光等の略直線偏光光において、偏向効率を更に向上させるための方法を以下に示す。

【0041】図6は、図2とは別の実施形態を示す内面

反射型光学素子の概略図である。図6の内面反射型光学素子は屈折率 $n_c = 1.5$ の蛍石(CaF_2)硝材から成り、周囲は波長 193nm で充分透過性のある媒質(屈折率 $n_g = 1$)で満たされている。そして、屈折面である入射面1と射出面3には透過効率を向上させるため、例えば屈折率 $n = 1.4$ の物質でオーバーコート4が施され、その入射角 $A1$ はオーバーコート4の条件に応じて設定されている。これは、入射面等の屈折面にオーバーコートすると、コート層の各界面での屈折角が s in 関数で決まるため、 \tan 関数で決まるプリユース*10 [表2]

基板($n=1.5$) コート($n=1.4$, 厚み 55nm)
略直線偏光(p 成分 $=95\%$, s 成分 $=5\%$) の場合

入射角(A1)	Rs/面(%)	Rp/面(%)	偏向効率(%)
48°	5.54	0.08	99.65
49°	5.83	0.05	99.66
50°	6.14	0.02	99.67
51°	6.47	0.01	99.67
52°	6.83	0	99.66

表2よりオーバーコートを施すことで、入射角 $A1$ が $48^\circ \sim 52^\circ$ の際には屈折面一面当たり 99.65% の透過効率を得られ、内面反射型光学素子の偏向効率は 99.3% まで高くできることがわかる。

【0044】以上より、片側 2° 以下の開き角で、偏光度が 95% 程度の略直線偏光を用いる場合には、屈折面にオーバーコートを施し、最適な入射角を与えることで高い偏向効率を得ることが可能となる。

【0045】尚、蛍石等潮解性を有する硝材を使用する場合には、保護膜という意味においても表面にオーバーコートすることが望ましい。屈折面におけるオーバーコートは表2で示したような条件で代用しても良い。一方、反射面におけるオーバーコートは全反射を満足させつつ耐性のある物質でコートすることが望ましく、屈折面のオーバーコート物質を流用出来れば尚良い。

【0046】図7は、例えば SiO_2 を反射面2にオーバーコートした場合を示した図である。 $E0$ は反射面への入射光である。 $E0$ は CaF_2 と SiO_2 の界面において、大部分($T1$)は SiO_2 コート層へ透過し、一部($R1$)は反射する。透過光 $T1$ は SiO_2 と媒質(例えば窒素雰囲気)の界面において全反射し、 CaF_2 と SiO_2 の界面において、 $T1$ の大部分($R2$)は透過して CaF_2 へ戻る。一部($T2$)は SiO_2 コート層へ反射し、以後全反射(SiO_2 と窒素の界面で)と反射屈折(CaF_2 と SiO_2 の界面で)を繰り返すことになる。

【0047】よって、全反射面への入射光($E0$)と、 CaF_2 に反射して戻ってくる光($R1 + R2 + R3 + \dots$)とは等しく、結果的に光量損失なく偏向することが可能となる。尚、 SiO_2 コート層の厚みは数十 nm オーダーなので、 SiO_2 コート層での透過率損失は無視できる量である。

【0048】以上、上記実施形態では硝材として蛍石

* ターの条件から誤差が生じて透過効率が悪化するためである。つまり、コートする物質の屈折率と厚みに応じて、透過効率が最適となる入射角を設定する必要があるということである。

【0042】表2に屈折率 $n = 1.4$ の物質を蛍石硝材に 55nm 厚でオーバーコートした場合の、入射面における入射角 $A1$ と反射率(R_s , R_p)及び界面(入射、反射、射出)での偏向効率の関係を示す。

【0043】

[表2]

(CaF_2)を使用して説明してきたが、他にも合成石英(SiO_2)、 MgF_2 、 LiF 等が使用できる。また、使用波長としては、 ArF エキシマレーザ(波長 193nm)の他にも、 F_2 レーザ(波長 157nm)、 Ar_2 レーザ(波長 126nm)等が考えられる。もちろん、波長 200nm 以上の光に対しても適用することは可能である。

【0049】次に、図1の露光装置を利用した半導体デバイスの製造プロセスを説明する。

【0050】図8は、半導体デバイス(ICやLSI等の半導体チップ、液晶パネル、CCD、薄膜磁気ヘッド、マイクロマシン等)の製造フローを示す。ステップ1(回路設計)では半導体デバイスの回路設計を行う。ステップ2(マスク制作)では設計した回路パターンを形成したマスク(レチクル21)を製作する。一方、ステップ3(ウエハ製造)ではシリコン等の材料を用いてウエハ(ウエハ23)を製造する。ステップ4(ウエハプロセス)は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハとを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。次のステップ5(組み立て)は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作成されたウエハを用いてチップ化する工程であり、アセンブリ工程(ダイシング、ボンディング)、パッケージング工程(チップ封入)等の工程を含む。ステップ6(検査)ではステップ5で作成された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行う。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷(ステップ7)される。

【0051】図9は、上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ11(酸化)ではウエハ(ウエハ23)の表面を酸化させる。ステップ12(CVD)ではウエハの表面に絶縁膜を形成する。ステップ13(電極形成)ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ス

ステップ14（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ15（レジスト処理）ではウエハにレジスト（感材）を塗布する。ステップ16（露光）では上記露光装置によってマスク（レチクルR）の回路パターンの像でウエハを露光する。ステップ17（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ18（エッチング）では現像したレジスト以外の部分を削り取る。ステップ19（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらステップを繰り返すことによりウエハ上に回路パターンが形成される。

【0052】ここで説明した製造プロセスを用いれば、従来は難しかった高集積度の半導体デバイスを製造することが可能になる。

【0053】

【発明の効果】以上説明した本発明によれば、短波長の光に対しても高い反射率を維持して光の偏向を行うとともに、直線偏向の解消が行える光学系が提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の光学素子が適用された露光装置を示す概略図である。

【図2】（a）は、本発明による内面反射型光学素子を示す鳥瞰図である。又、（b）は、本発明の第1の実施形態を説明するための内面反射型光学素子の概略図である。

【図3】本発明の第2の実施形態を説明するための内面反射型光学素子の概略図である。

【図4】直角プリズムを示す概略図である。

【図5】ArFエキシマレーザ光のビームプロファイルと偏光を示した図である。

【図6】本発明の第三実施形態を説明するための内面反射型光学素子の概略図である。

*【図7】反射面にオーバーコートを施した場合を示した図である。

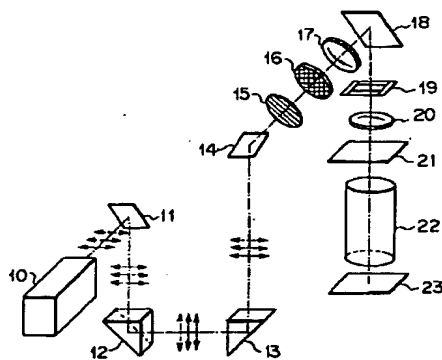
【図8】デバイス製造工程のフローチャートである。

【図9】ウエハプロセスのフローチャートである。

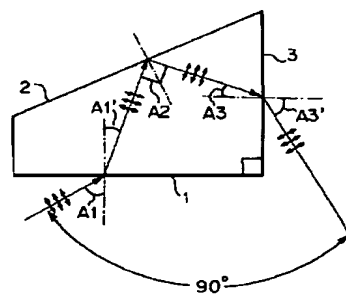
【符号の説明】

- 1 入射面
- 2 全反射面
- 3 射出面
- 4 オーバーコート（屈折面）
- 10 ArFエキシマレーザ発振器
- 11、14 誘電体ミラー
- 12、13 内面反射型光学素子
- 15 偏光解消素子
- 16 フライアイレンズ
- 17 集光レンズ
- 18 ミラー
- 19 マスキングブレード
- 20 結像レンズ
- 21 レチクル
- 22 投影光学系
- 23 ウエハ
- A1 入射面における入射角
- A1' 入射面における屈折角
- A2 全反射面における入射角
- A3 射出面における入射角
- A3' 射出面における屈折角
- B1、B3 反射防止膜
- E0 全反射面に入射する光束
- R1、R2、R3 内面反射型素子とオーバーコートの界面から戻って来る光束
- T1、T2、T3 オーバーコート層内で反射する光束

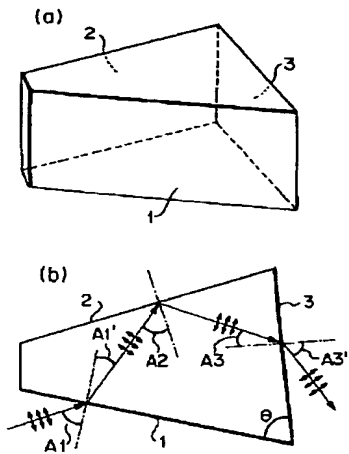
【図1】



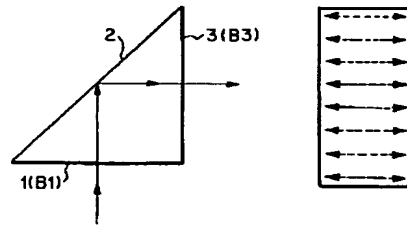
【図3】



【図2】

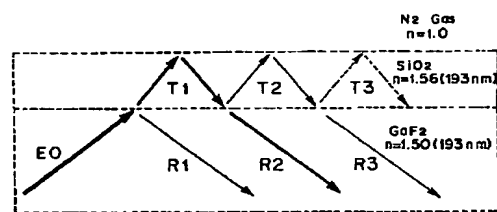


【図4】

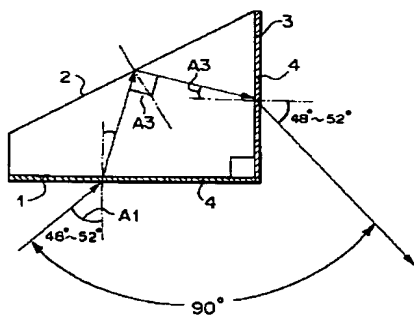


【図5】

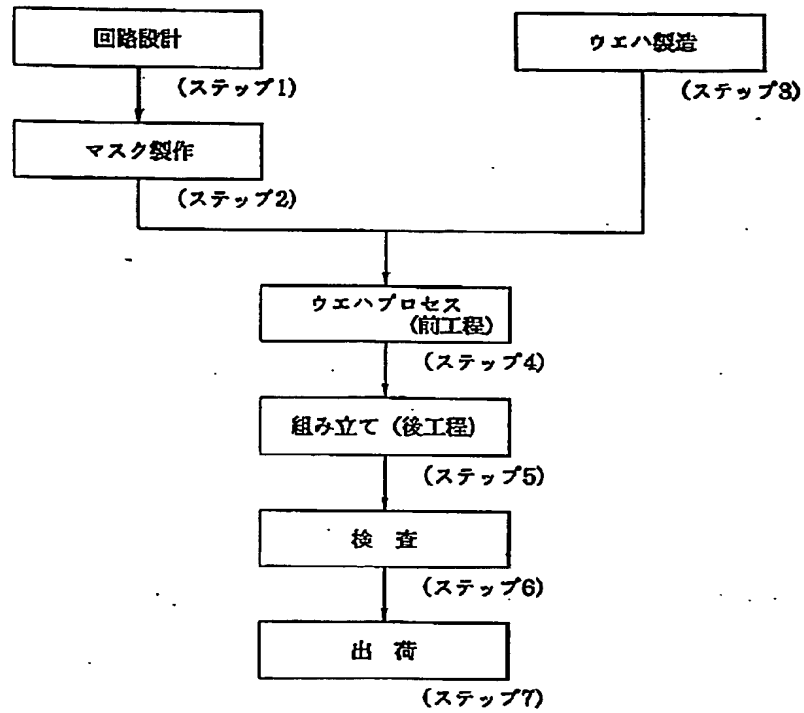
【図7】



【図6】

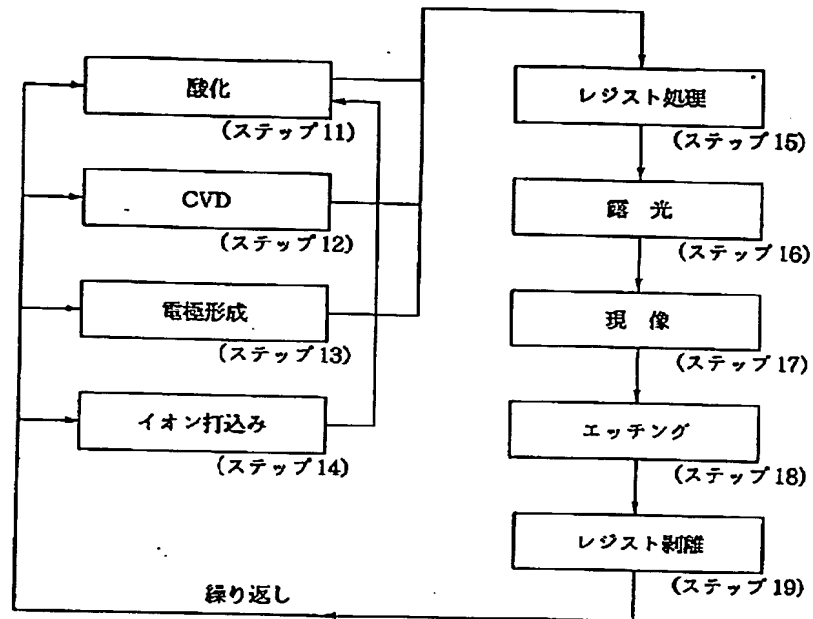


【図8】



半導体デバイス製造フロー

【図9】



ウエハプロセス